

PERBANDINGAN DI ANTARA PENGHASILAN MODEL DIGITAL TIGA
DIMENSI DAN MODEL FIZIKAL BAGI CRANIOFACIAL TISU KERAS

ZAKIAH BINTI ABDUL MAJID @ ZAKARIA

Tesis ini dikemukakan
sebagai memenuhi syarat penganugerahan
ijazah Sarjana Sains (Geoinformatik)

Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi
Universiti Teknologi Malaysia

JUN 2007

Buat Insan-Insan Tersayang,
Abah, Mama, Zakey, Mijea, Mazlin, Ani, Amin dan Hakim

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, bersyukur ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah kurnia dan keizinanNya, dapat saya menyiapkan tesis Sarjana Sains (Geoinformatik) ini dengan jayanya.

Di sini ingin saya merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan jutaan terima kasih kepada Prof. Dr. Halim Setan selaku penyelia di atas bimbingan, nasihat dan tunjuk ajarnya sehingga dapat saya menyiapkan tesis ini.

Jutaan terima kasih juga diucapkan kepada En.Zulkepli Majid dan Dr.Albert K. Chong di atas segala bantuan dan tunjuk ajar yang diberikan sepanjang tempoh penyelidikan ini dijalankan.

Kepada semua pihak yang membantu saya dalam menyiapkan tesis ini secara langsung atau tidak langsung terutamanya kepada ahli keluarga dan rakan-rakan di Medical Imaging Research Group (MIRG), jutaan terima kasih diucapkan kepada anda semua. Segala jasa anda semua akan saya kenangi.

ABSTRAK

Ketepatan pengukuran pada bahagian kepala dan muka manusia amat diperlukan oleh pakar bedah dan ahli radiologi untuk perancangan pembedahan. Kajian ini menumpukan kepada penghasilan model digital tiga dimensi (3D) pada bahagian *craniofacial* dengan menggunakan data imbasan peralatan *Computed Tomography* (CT). Kajian ini merangkumi dua perbandingan iaitu memilih perisian terbaik bagi menghasilkan model digital 3D serta mendapatkan kaedah pengukuran yang paling tepat. Penghasilan model digital 3D adalah menggunakan tiga perisian iaitu RapidForm2004, 3D Doctor dan 3D Slicer. Model yang terhasil daripada ketiga-tiga perisian tersebut telah dibandingkan dengan model *gold standard* iaitu model yang dihasilkan oleh perisian *Materialise's Interactive Medical Image Control System* (MIMICS). Perbandingan adalah berdasarkan perbezaan nilai sisihan piawai, *Root Mean Square* (RMS), varian dan pengukuran. Hasil perbandingan menunjukkan 3D Slicer dapat menghasilkan model digital 3D terbaik. Bagi menentukan kaedah pengukuran yang paling tepat, pengukuran pada model fizikal telah dilakukan menggunakan *microscribe digitizer*, pengimbas *laser* dan kaliper. Hasil pengukuran bagi semua kaedah tersebut telah dibandingkan dengan kaedah fotogrametri jarak dekat digital berdasarkan perbezaan nilai pengukuran, sisihan piawai dan RMS. Hasil perbandingan menunjukkan *microscribe digitizer* dapat menghasilkan pengukuran yang paling tepat. Hasil perbandingan di antara model digital daripada 3D Slicer dengan titik pengukuran daripada *microscribe digitizer* menunjukkan nilai pengukuran berbeza antara 0.01 mm hingga 0.97 mm. Model digital 3D dan model fizikal yang dihasilkan dapat digunakan untuk menentukan kedudukan titik pengukuran yang sukar ditentukan dengan kaedah konvensional. Di akhir kajian ini, sebuah pangkalan data ringkas telah dibangunkan menggunakan Microsoft Access 2003 untuk menyimpan semua maklumat pengukuran.

ABSTRACT

Accurate measurement on human craniofacial is crucial to surgeon and radiologist for surgical planning. This research focuses on the construction of digital three-dimensional (3D) models for craniofacial using scanned data from Computed Tomography (CT) device. It involves two comparisons to determine the best software to produce digital 3D model and the most accurate measuring method. The digital 3D models were produced using three software namely Rapidform2004, 3D Doctor and 3D Slicer. Then the 3D models which were produced by the three software were compared with a gold standard model produced by Materialise's Interactive Medical Image Control System (MIMICS) software. The comparisons were based on standard deviation, Root Mean Square (RMS), variance and measurement. The results yield the 3D Slicer can produce the best digital 3D model. In order to determine the most accurate measuring method, the measurements on physical model were carried out by using microscribe digitizer, laser scanner and calliper. The results from each method then compared with the close range photogrammetry method based on measurement, standard deviation and RMS. The results show that microscribe digitizer could provide the most accurate measurements. Finally, a comparison between 3D Slicer and microscribe digitizer were carried out. The comparison shows that the measurement values vary between 0.01 mm and 0.97 mm. A digital 3D model and a physical model could be used to determine a measurement point which is difficult to determine by using conventional method. A simple database was developed by using Microsoft Access 2003 to store all the measurements.

SENARAI KANDUNGAN

BAB	TAJUK	MUKA SURAT
	HALAMAN JUDUL	i
	PENGAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	HALAMAN KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	xii
	SENARAI RAJAH	xv
	SENARAI ISTILAH	xxii
	SENARAI SINGKATAN	xxiv
	SENARAI LAMPIRAN	xxvi
1	Pengenalan	1
	1.1 Pendahuluan	1
	1.2 Pernyataan Masalah	3
	1.3 Objektif Penyelidikan	5
	1.4 Skop Penyelidikan	5
	1.5 Metodologi Penyelidikan	6
	1.6 Kepentingan Penyelidikan	10
	1.7 Rumusan Aliran Bab	11

2	KAJIAN LITERATUR	12
2.1	Pengenalan Kepada <i>Craniofacial</i>	12
2.2	Keperluan Pengukuran Dalam <i>Craniofacial</i>	17
2.3	Kaedah Pengukuran	22
2.3.1	Kaedah Sentuhan	22
2.3.1.1	<i>Microscribe Digitizer</i>	23
2.3.1.2	Kaliper	25
2.3.2	Kaedah Tanpa Sentuhan	25
2.3.2.1	Peralatan	26
2.3.2.1.1	Pengimbas Laser	26
2.3.2.1.2	Pengimbas <i>Computed Tomography</i> (CT)	28
2.3.2.1.3	Pengimbas <i>Magnetic Resonance Imaging</i> (MRI)	29
2.3.2.1.4	Fotogrametri Jarak Dekat Digital	30
2.3.2.2	Perisian	31
2.3.2.2.1	RapidForm2004	32
2.3.2.2.2	3D Doctor	34
2.3.2.2.3	3D Slicer	36
2.3.2.2.4	<i>Materialise's Interactive Medical Image Control System</i> (MIMICS)	37
2.4	Pangkalan Data Dalam Bidang Perubatan	39
2.4.1	<i>Advantage Workstation</i> (AW)	39
2.4.2	<i>Picture Archiving Communication Systems</i> (PACS)	40
2.4.3	<i>Clinical Information System</i> (CIS)	41
2.5	Kaedah Analisa Statistik	42
2.6	Rumusan	43
3	PENGHASILAN DAN PERBANDINGAN MODEL DIGITAL 3D BAGI CRANIOFACIAL TISU KERAS	45
3.1	Pendahuluan	45
3.2	Perolehan Data	46

3.2.1	Data Imbasan <i>Computed Tomography</i> (CT)	46
3.2.2	Model Fizikal	48
3.2.3	Model Digital 3D <i>Gold Standard</i>	50
3.3	Penghasilan Model Digital 3D	51
3.3.1	Model RapidForm2004	52
3.3.2	Model 3D Doctor	54
3.3.3	Model 3D Slicer	55
3.3.4	Model <i>Materialise's Interactive Medical Image Control System</i> (MIMICS)	58
3.4	Perbandingan Model Digital 3D Yang Dihasilkan Dengan Model Digital <i>Gold Standard</i>	61
3.5	Rumusan	68
4	PENENTUAN TITIK PENGUKURAN, PROSES PENGUKURAN DAN PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN	69
4.1	Pendahuluan	69
4.2	Titik Pengukuran	72
4.3	Kaedah Penentuan Kedudukan Titik Pengukuran	77
4.3.1	Model Digital 3D	77
4.3.2	Model Fizikal	79
4.3.2.1	<i>Microscribe Digitizer</i>	80
4.3.2.2	Fotogrametri Jarak Dekat Digital	82
4.3.2.3	Pengimbas Laser	85
4.3.2.4	Kaliper	87
4.4	Proses Pengukuran Jarak Linear	88
4.4.1	Model Digital 3D	92
4.4.2	Model Fizikal	94
4.4.2.1	RapidForm2004	94
4.4.2.2	Australis	98
4.4.2.3	Kaliper	99

4.5	Perbandingan Hasil Pengukuran	100
4.5.1	Peringkat Awal	101
4.5.2	Peringkat Akhir	104
4.6	Rumusan	104
5	REKA BENTUK DAN PEMBANGUNAN PANGKALAN DATA	105
5.1	Pendahuluan	105
5.2	Reka Bentuk Pangkalan Data	105
5.2.1	Reka Bentuk Konseptual	106
5.2.2	Reka Bentuk Logikal	110
5.2.3	Reka Bentuk Fizikal	111
5.3	Pembangunan Pangkalan Data	114
5.3.1	Kemasukan Data Atribut	114
5.4	Rumusan	124
6	HASIL DAN ANALISIS	125
6.1	Pendahuluan	125
6.2	Perbandingan Di Antara Model Digital	126
6.2.1	Nilai Sisihan Piawai	128
6.2.2	<i>Root Mean Square</i> (RMS)	133
6.2.3	Varian	133
6.2.4	Pengukuran (Jarak Linear)	135
6.3	Analisa Statistik Bagi Perbandingan Model Digital	143
6.4	Perbandingan Di Antara Model Fizikal	145
6.4.1	Pengukuran	145
6.4.2	Sisihan Piawai	149
6.4.3	<i>Root Mean Square</i> (RMS)	150
6.5	Perbandingan Di Antara Model Digital Dan Model Fizikal	151
6.6	Analisa Statistik Bagi Perbandingan Model Digital Dan Model Fizikal	157
6.7	Rumusan	159

7	KESIMPULAN DAN CADANGAN	160
	7.1 Pendahuluan	160
	7.2 Kesimpulan	160
	7.3 Cadangan	163
	RUJUKAN	164-167
	LAMPIRAN A-D	168-200

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Input, proses dan output bagi kajian.	9
2.1	Senarai titik pengukuran mengikut pendapat penyelidik terkemuka (Kolar dan Salter, 1997).	18
2.2	Senarai titik pengukuran (Wan Abdul Rahman, 2005).	19
2.3	Senarai jenis pengukuran (Wan Abdul Rahman, 2005).	20
2.4	Spesifikasi perisian.	33
3.1	Proses keseluruhan bagi menghasilkan model digital 3D.	60
4.1	Senarai titik pengukuran yang digunakan pada peringkat awal kajian.	73
4.2	Senarai titik pengukuran yang digunakan pada peringkat akhir kajian.	75
4.3	Contoh hasil titik pengukuran yang diperolehi pada peringkat akhir kajian (Set 1).	76
4.4	Senarai garisan pengukuran yang digunakan semasa peringkat awal.	88
4.5	Senarai garisan pengukuran yang digunakan semasa peringkat akhir.	91
4.6	Contoh hasil pengukuran yang diperolehi pada peringkat akhir (Set 1).	92
5.1	Jadual definisi bagi data atribut.	111

5.2	Storan reka bentuk fizikal bagi entiti Pesakit.	112
5.3	Storan reka bentuk fizikal bagi entiti Model.	112
5.4	Storan reka bentuk fizikal bagi entiti Kaedah.	113
5.5	Storan reka bentuk fizikal bagi entiti Titik Pengukuran.	113
5.6	Storan reka bentuk fizikal bagi entiti Pengukuran.	113
6.1	Hasil perbandingan di antara model digital 3D dan model <i>gold standard</i> (Set 3).	132
6.2	Analisa statistik bagi purata hasil perbandingan di antara model digital 3D dan model digital 3D <i>gold standard</i> (Set 3).	134
6.3	Perbandingan 10 hasil pengukuran linear di antara model digital bagi Set 1 (peringkat awal).	137
6.4	Perbandingan 10 hasil pengukuran linear di antara model digital bagi Set 2 (peringkat awal).	137
6.5	Perbandingan 10 hasil pengukuran linear di antara model digital bagi Set 3 (peringkat awal).	138
6.6	Perbandingan 10 hasil pengukuran linear di antara model digital bagi Set 4 (peringkat awal).	138
6.7	Perbandingan 10 hasil pengukuran linear di antara model digital bagi Set 5 (peringkat awal).	139
6.8	Julat bagi perbandingan 10 hasil pengukuran linear bagi model digital (peringkat awal).	142
6.9	Nilai varian yang diperolehi bagi hasil pengukuran model digital 3D.	143
6.10	Hasil analisa bagi model digital menggunakan <i>F-Test</i> .	144
6.11	Perbandingan 10 hasil pengukuran linear dengan kaedah fotogrametri bagi Set 1 (peringkat awal).	147

6.12	Perbandingan 10 hasil pengukuran linear dengan kaedah fotogrametri bagi Set 2 (peringkat awal).	147
6.13	Perbandingan 10 hasil pengukuran linear dengan kaedah fotogrametri bagi Set 3 (peringkat awal).	148
6.14	Perbandingan 10 hasil pengukuran linear dengan kaedah fotogrametri bagi Set 4 (peringkat awal).	148
6.15	Perbandingan 10 hasil pengukuran linear dengan kaedah fotogrametri bagi Set 5 (peringkat awal).	149
6.16	Analisa hasil perbandingan bagi nilai sisihan piawai dan RMS pada model fizikal.	150
6.17	Perbandingan 19 hasil pengukuran linear di antara model digital dengan model fizikal bagi Set 1 (peringkat akhir).	152
6.18	Perbandingan 19 hasil pengukuran linear di antara model digital dengan model fizikal bagi Set 2 (peringkat akhir).	152
6.19	Perbandingan 19 hasil pengukuran linear di antara model digital dengan model fizikal bagi Set 3 (peringkat akhir).	153
6.20	Perbandingan 19 hasil pengukuran linear di antara model digital dengan model fizikal bagi Set 4 (peringkat akhir).	153
6.21	Perbandingan 19 hasil pengukuran linear di antara model digital dengan model fizikal bagi Set 5 (peringkat akhir)	154
6.22	Nilai varian yang diperolehi bagi hasil pengukuran model digital dan model fizikal	157
6.23	Hasil analisa bagi model digital dan model fizikal menggunakan <i>F-Test</i> .	158

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Keadaan kecacatan pada bahagian muka pesakit; (a) ketumbuhan, (b) kecacatan semasa lahir, (c) kemalangan.	4
1.2	Metodologi kajian.	7
2.1	Gambaran takrifan <i>face</i> .	13
2.2	Bahagian tisu lembut dan tisu keras.	13
2.3	Pandangan hadapan pada bahagian tisu keras.	14
2.4	Pandangan sisi pada bahagian tisu keras.	15
2.5	Pandangan belakang pada bahagian tisu keras.	15
2.6	Pandangan bawah pada bahagian tisu keras.	16
2.7	Titik pengukuran (Kitai <i>et al.</i> , 2002).	21
2.8	Pengukuran (Kitai <i>et al.</i> , 2002).	21
2.9	Contoh alat pengukuran <i>craniofacial</i> ; (a) <i>Spreading caliper</i> , (b) Pita ukur, (c) Protraktor, (d) <i>Level and angle finder</i> , (e) <i>Sliding caliper</i> dan (f) <i>Double sliding caliper</i> (Kolar dan Salter, 1997).	23
2.10	<i>Microscribe Digitizer G2X</i>	24
2.11	Proses pendigitan pada bahagian muka (Nagasaka <i>et al.</i> , 2003).	24
2.12	Kaliper vernier.	25
2.13	Pengimbas laser VIVID 910.	27

2.14	Sistem yang menggunakan pengimbas laser untuk mendapatkan model 3D bagi muka manusia.	27
2.15	Pengimbas CT GE Light Speed Plus.	28
2.16	Pengimbas <i>Magnetic Resonance Imaging</i> (MRI).	30
2.17	Contoh aplikasi pengukuran fotogrametri jarak dekat digital.	31
2.18	Antaramuka perisian RapidForm2004 (<i>3D imaging workbench</i>).	32
2.19	Antaramuka perisian 3D Doctor.	35
2.20	Antaramuka perisian 3D Slicer.	36
2.21	Antaramuka perisian MIMICS.	38
2.22	Imej paparan <i>Advantage Workstation</i> .	40
2.23	<i>Picture Archiving Communication Systems</i> .	41
3.1	Data imbasan CT dalam bentuk potongan imej 2D menggunakan perisian 3D Doctor.	48
3.2	Model fizikal (Set 2).	49
3.3	Penghasilan model fizikal.	49
3.4	Model digital 3D <i>gold standard</i> (MIMICS) daripada SIRIM Berhad.	50
3.5	Cartalir ringkas bagi penghasilan model digital.	51
3.6	Proses penghasilan model digital 3D menggunakan RapidForm2004.	52
3.7	Model digital 3D menggunakan RapidForm2004.	53
3.8	Proses penghasilan model digital 3D menggunakan 3D Doctor.	54
3.9	Model digital 3D menggunakan 3D Doctor.	55
3.10	Proses penghasilan model digital 3D menggunakan 3D Slicer.	56
3.11	Paparan pada bahagian yang diperlukan (ungu) dan tidak diperlukan (merah jambu).	57
3.12	Model digital 3D menggunakan 3D Slicer.	57
3.13	<i>Haunsfield Scale</i> .	58

3.14	Proses penghasilan model digital 3D menggunakan MIMICS.	59
3.15	Model digital 3D menggunakan MIMICS.	59
3.16	Proses menentukan perisian yang dapat menghasilkan model digital 3D terbaik.	61
3.17	Proses menentukan nilai sisihan piawai menggunakan perisian RapidForm2004.	62
3.18	Model perisian 3D Slicer (kiri) dan model perisian MIMICS (kanan) yang diimport ke dalam perisian RapidForm2004 (Set 3).	63
3.19	Proses <i>initial registration</i> (Set 3); (a) <i>Register</i> dua model, (b) Hasil proses <i>initial registration</i> .	64
3.20	Hasil selepas proses <i>fine registration</i> (Set 3).	65
3.21	Hasil proses <i>shell deviation</i> (Set 3).	66
3.22	Maklumat hasil <i>shell deviation</i> ; (a) graf taburan sisihan piawai, (b) menu pilihan <i>shell deviation</i> , dan (c) keputusan analisis.	67
4.1	Proses peringkat awal.	70
4.2	Proses peringkat akhir.	71
4.3	Lima set kedudukan titik pengukuran pada model 3D Slicer untuk kajian peringkat awal; (a) Set 1, (b) Set 2, (c) Set 3, (d) Set 4 dan (e) Set 5.	72
4.4	Pandangan sisi bagi kedudukan 36 titik pengukuran pada model 3D Slicer untuk kajian peringkat akhir (Set 3); (a) imej tekstur dan titik pengukuran, (b) gambaran titik pengukuran.	74
4.5	Pandangan hadapan bagi kedudukan 36 titik pengukuran pada model 3D Slicer untuk kajian peringkat akhir (Set 3); (a) imej tekstur dan titik pengukuran, (b) gambaran titik pengukuran.	74
4.6	Proses penentuan titik pengukuran pada model digital 3D.	78

4.7	Cerapan titik pengukuran menggunakan perisian RapidForm2004 (Set 3).	78
4.8	Model fizikal (Set 4); (a) pandangan hadapan dan (b) pandangan sisi.	79
4.9	Proses penentuan titik pengukuran menggunakan kaedah <i>Microscribe Digitizer G2X</i> pada peringkat awal kajian.	80
4.10	Pendigitan titik pengukuran menggunakan <i>Microscribe Digitizer G2X</i> yang dihubungkan pada perisian Rhinoceros 2.0.	81
4.11	Paparan titik pengukuran pada perisian Rhinoceros 2.0 yang dihasilkan dengan menggunakan <i>Microscribe Digitizer G2X</i> .	81
4.12	Proses penentuan titik pengukuran menggunakan kaedah fotogrametri jarak dekat digital pada peringkat awal kajian.	82
4.13	Konica Minolta DiMAGE A200.	83
4.14	Cerapan data titik pengukuran menggunakan teknik fotogrametri.	84
4.15	Paparan dan pendigitan titik pengukuran menggunakan perisian Australis dari arah 3 (Set 3).	84
4.16	Proses penentuan titik pengukuran menggunakan pengimbas laser.	85
4.17	Cerapan data titik pengukuran dengan menggunakan pengimbas laser VIVID 910 yang dihubungkan pada <i>rotating table</i> .	86
4.18	Gambaran kedudukan alat dan objek; (a) proses imbasan pertama dan (b) proses imbasan kedua.	87
4.19	Kaliper vernier	87
4.20	Gambaran pengukuran model digital 3D pada peringkat awal (Set 2).	89
4.21	Gambaran pengukuran model digital 3D pada pandangan hadapan bagi peringkat akhir (Set 2).	90

4.22	Gambaran pengukuran model digital 3D pada pandangan sisi bagi peringkat akhir (Set 2).	90
4.23	Proses pengukuran pada model digital 3D yang dilakukan di dalam peringkat awal kajian.	93
4.24	Pengukuran linear pada model digital 3D Slicer dengan menggunakan perisian RapidForm2004 (Set 3)	94
4.25	Proses pengukuran model fizikal pada perisian RapidForm2004 dengan menggunakan pengimbas laser VIVID 910 di dalam peringkat awal kajian.	95
4.26	Pengukuran pada model 3D yang dihasilkan dari imbasan laser menggunakan perisian RapidForm2004 (Set 2)	96
4.27	Proses pengukuran model fizikal pada perisian RapidForm2004 dengan menggunakan <i>Microscribe Digitizer G2X</i> di dalam peringkat awal kajian.	97
4.28	Pengukuran pada titik pengukuran 3D yang dihasilkan daripada kaedah <i>microscribe digitizer G2X</i> pada perisian RapidForm2004 (Set 1).	97
4.29	Proses pengukuran dengan menggunakan perisian Australis pada titik pengukuran 3D yang dihasilkan daripada kaedah fotogrametri jarak dekat digital.	98
4.30	Pengukuran pada titik pengukuran yang terhasil daripada teknik fotogrametri menggunakan perisian Australis.	99
4.31	Cerapan data pengukuran dengan menggunakan kaliper vernier.	100
4.32	Proses perbandingan perisian	101
4.33	Proses perbandingan kaedah pengukuran.	103
5.1	Senarai atribut bagi entiti Pesakit.	106
5.2	Senarai atribut bagi entiti Model.	107
5.3	Senarai atribut bagi entiti Kaedah.	107
5.4	Senarai atribut bagi entiti Pengukuran.	108
5.5	Senarai atribut bagi entiti Titik_Pengukuran.	108

5.6	Rajah Hubungan Entiti.	109
5.7	Proses di dalam pembangunan pangkalan data.	114
5.8	Antaramuka bagi maklumat pesakit.	115
5.9	Data peribadi pesakit yang disimpan di dalam pangkalan data.	116
5.10	Antaramuka bagi maklumat model pesakit.	116
5.11	Data-data model pesakit yang disimpan di dalam pangkalan data.	117
5.12	Antaramuka bagi maklumat kaedah yang digunakan.	118
5.13	Data-data bagi kaedah yang digunakan ke atas pesakit.	118
5.14	Antaramuka bagi maklumat titik pengukuran.	119
5.15	Menu untuk menyimpan rekod yang telah dimasukkan.	120
5.16	Data-data bagi titik pengukuran (x,y,z) yang disimpan di dalam pangkalan data.	121
5.17	Antaramuka bagi maklumat pengukuran.	122
5.18	Data-data bagi pengukuran yang disimpan di dalam pangkalan data.	123
6.1	Perbandingan model digital.	126
6.2	Model digital 3D yang dihasilkan dan model MIMICS (Set 3); (a) Model RapidForm2004, (b) Model 3D Doctor, (c) Model 3D Slicer dan (d) Model MIMICS.	127
6.3	Model yang dihasilkan pada proses <i>shell deviation</i> (Set 3); (a) model digital RapidForm2004 dan model digital 3D MIMICS, (b) model digital 3D Doctor dan model digital 3D MIMICS serta (c) model digital 3D Slicer dan model digital 3D MIMICS.	129
6.4	Graf taburan sisihan piawai bagi proses <i>shell deviation</i> (Set 3); (a) model digital RapidForm2004 dan model digital 3D MIMICS, (b) model digital 3D Doctor dan model digital 3D MIMICS serta (c) model digital 3D Slicer dan model digital 3D MIMICS.	130

6.5	Hasil analisa <i>shell deviation</i> (Set 3); (a) model digital RapidForm2004 dan model digital 3D MIMICS, (b) model digital 3D Doctor dan model digital 3D MIMICS serta (c) model digital 3D Slicer dan model digital 3D MIMICS.	131
6.6	Proses perbandingan hasil pengukuran bagi model digital 3D.	136
6.7	Graf taburan data hasil pengukuran linear bagi Set 1 (peringkat awal).	139
6.8	Graf taburan data hasil pengukuran linear bagi Set 2 (peringkat awal).	140
6.9	Graf taburan data hasil pengukuran linear bagi Set 3 (peringkat awal).	140
6.10	Graf taburan data hasil pengukuran linear bagi Set 4 (peringkat awal).	141
6.11	Graf taburan data hasil pengukuran linear bagi Set 5 (peringkat awal).	141
6.12	Proses pengukuran pada model fizikal	146
6.13	Graf taburan data hasil pengukuran linear bagi Set 1 (peringkat akhir).	154
6.14	Graf taburan data hasil pengukuran linear bagi Set 2 (peringkat akhir).	155
6.15	Graf taburan data hasil pengukuran linear bagi Set 3 (peringkat akhir).	155
6.16	Graf taburan data hasil pengukuran linear bagi Set 4 (peringkat akhir).	156
6.17	Graf taburan data hasil pengukuran linear bagi Set 5 (peringkat akhir).	156

SENARAI ISTILAH

Bahasa Inggeris

Bahasa Melayu

3D Rendering	-	3D Rendering
Axial	-	Pandangan dari atas
Contouring	-	Pengkonturan
Coronal	-	Pandangan dari depan
Cosmetic Surgery	-	Pembedahan kosmetik
Craniofacial	-	Craniofacial
Craniotomies	-	Craniotomies
Cross-sectional	-	Potongan imej
Double click	-	Klik sebanyak dua kali
Dye	-	Pewarna
Edit	-	Sunting
Fine Registration	-	Pemadanan imej peringkat kedua
Gold Standard	-	Model piawai
Harizontal profile	-	Gerakan menerusi paksi x
Image sharpen	-	Penjelasan imej
Initial registration	-	Pemadanan imej peringkat pertama
Interferometry	-	Interferometri
Map pixel value	-	Menukar julat nilai piksel kepada suatu nilai baru
Mean	-	Purata
Merge	-	Penggabungan
Rapid prototyping	-	Rapid prototyping

Register	-	Padan
Registration	-	Pemadanan / Penindihan
Reverse Engineering	-	Reverse engineering
Rotating table	-	Meja berpusing
Rotating	-	Berpusing
Sagittal	-	Pandangan dari sisi
Shell deviation	-	Sisihan pada objek
Subsampling	-	Subsampling
Surface Rendering	-	Surface Rendering
Thresholding	-	Teknik pengasingan bahagian-bahagian
Vertical profile	-	Gerakan menerusi paksi y
Volume of Interest	-	Bahagian yang dikehendaki
Volume Rendering	-	Mempamerkan isipadu atau ruang
Volume	-	Isipadu atau ruang
Volumetric	-	Volumetric

SENARAI SINGKATAN

2D	-	Dua dimensi
3D	-	Tiga dimensi
3ds	-	3D Studio
ANOVA	-	Analysis of Variance
AW	-	Advantage Workstation
CAD	-	Computer Aided Design
Cdm	-	Custom Data Module
CIS	-	Clinical Information System
CMM	-	Coordinate Measuring Machine
CT	-	Computed Tomography
DICOM	-	Digital Imaging and Communications in Medicine
Dxf	-	Drawing Exchange Format
E-R Diagram	-	Rajah Hubungan Entiti
HIS	-	Hospital Information System
HUSM	-	Hospital Universiti Sains Malaysia
Iges	-	Initial Graphics Exchange Specification
Jpeg	-	Joint Photographic Experts Group
Mcs	-	Mimics
Mdl	-	Model
MIMICS	-	Materialise's Interactive Medical Image Control System
MOSTI	-	Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi
MRA	-	Magnetic Resonance Angiography
MRI	-	Magnetic Resonance Imaging
PACS	-	Picture Archiving Communication System

PET	-	Polygon Editing Tools
RAM	-	Random Access Memory
RIS	-	Radiology Information System
RMS	-	Root Mean Square
RP	-	Rapid Prototyping
SIRIM	-	Standards and Industrial Research Institute of Malaysia
SLA	-	Stereolithography Apparatus
Stl	-	Stereo Lithography
Suf	-	Surface
Tcl	-	Tool Command Language
Tk	-	Tool Kit
TLA	-	True Life Anatomy
UTM	-	Universiti Teknologi Malaysia
Vtk	-	Visualization Tool Kit

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	Penghasilan Model Digital 3D Menggunakan Perisian RapidForm2004	159-166
B	Penghasilan Model Digital 3D Menggunakan Perisian 3D Doctor	167-178
C	Penghasilan Model Digital 3D Menggunakan Perisian 3D Slicer	179-190
D	Sumbangan Kajian	200

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Di Malaysia, pelbagai kaedah yang menggunakan imej berkomputer telah diaplikasikan di dalam bidang perubatan untuk membantu merawat pesakit yang mengalami masalah kesihatan yang serius. Menurut Lo dan Chen (2003), kaedah-kaedah yang sering digunakan di dalam bidang imej perubatan adalah seperti imbasan CT, *magnetic resonance imaging* (MRI), *ultrasonography*, *laser scanning* dan *microscopic imaging*.

Imbasan CT merupakan salah satu kaedah yang digunakan untuk menghasilkan imej *craniofacial* bagi tisu keras dalam bentuk potongan imej. Imej-imej ini adalah berbentuk dua dimensi (2D) dan setiap potongan imej mengandungi maklumat yang berlainan. Menurut Kolar dan Salter (1997), setiap potongan imej CT dapat memberikan maklumat bagi setiap lapisan *craniofacial* dengan jelas bagi struktur dalaman pada bahagian muka dan kepala, skeletal dan tisu lembut yang tidak boleh diperolehi melalui radiograf biasa. Seterusnya, kesemua imej-imej 2D tersebut diproses ke dalam bentuk 3D dengan menggunakan perisian seperti True Life Anatomy (TLA), Analyze dan 3D Doctor untuk memaparkan bentuk asal imej *craniofacial* tersebut.

Menurut Kolar dan Salter (1997), imbasan MRI merupakan satu teknik terbaru yang menggunakan komputer dan teknik ini dapat menghasilkan satu siri potongan imej yang melalui tisu-tisu badan seperti imbasan CT. Imbasan MRI amat sesuai digunakan untuk mendapatkan imej tisu lembut manusia. Teknik ini amat berguna di dalam pembelajaran mengenai otot-otot rahang (Hannam dan Wood, 1989; Spronsen *et al.*, 1991), ketumbuhan bagi *nasopharynx* (Modder *et al.*, 1987) dan beberapa kecacatan yang berlaku pada tisu lembut (Poed *et al.*, 1992). Sebelum proses imbasan dilakukan, pesakit terlebih dahulu disuntik dengan menggunakan sejenis bahan cecair kontra bertujuan untuk menghasilkan imej yang lebih jelas selepas imbasan dilakukan.

Teknik *magnetic resonance angiography* (MRA) pula digunakan untuk mengesan masalah pada saluran-saluran darah yang terdapat di dalam badan manusia serta menentukan cara bagi merawat masalah bagi penyakit tersebut. MRA menggunakan teknologi MRI untuk mengesan, mengdiagnosis serta membantu merawat penyakit jantung dan saluran darah serta mampu menghasilkan imej yang sangat jelas. Teknik MRA tidak memerlukan pesakit disuntik dengan menggunakan sebarang bahan cecair kontra seperti di dalam teknik MRI.

Dalam kajian ini, teknik imbasan CT telah digunakan untuk mendapatkan data-data bagi menghasilkan model digital 3D pada *craniofacial* tisu keras manusia. Selain itu, teknik-teknik seperti fotogrametri jarak dekat digital, pengimbas laser, *microscribe digitizer* dan kaliper turut diaplikasikan di dalam kajian ini pada model fizikal bagi mendapatkan data-data pengukuran. Model fizikal telah digunakan bagi menggantikan tengkorak asal untuk tujuan perbandingan dengan model digital 3D yang dihasilkan. Perbandingan ini dilakukan untuk mendapatkan perbezaan hasil pengukuran bagi model digital 3D yang dihasilkan dengan tengkorak sebenar iaitu model fizikal.

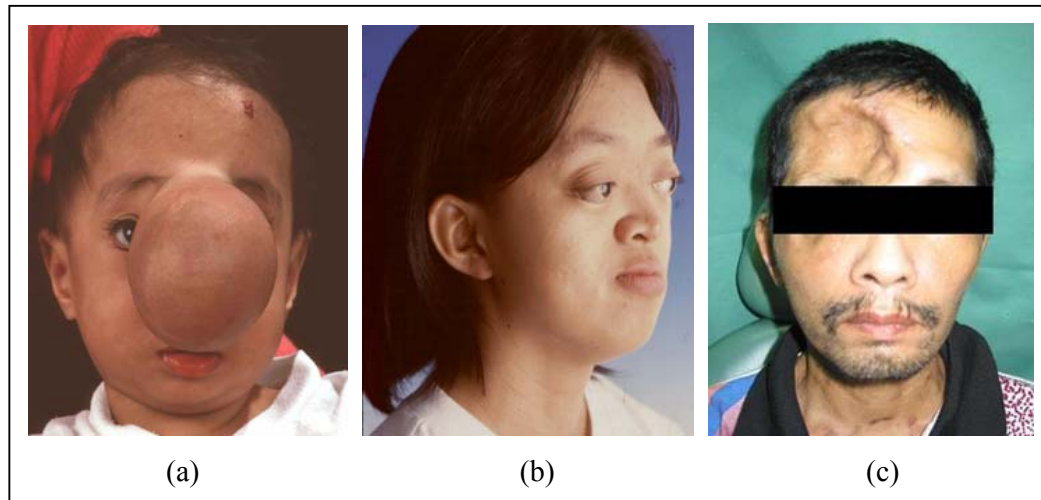
Penghasilan model digital 3D yang baik sangat diperlukan oleh pakar bedah serta ahli radiologi bertujuan untuk mendapatkan data pengukuran yang tepat. Model digital 3D yang dihasilkan dapat membantu di dalam menentukan kedudukan titik pengukuran yang terlindung dan sukar untuk ditentukan dengan menggunakan kaedah konvensional. Model digital 3D yang dihasilkan dapat digunakan untuk

tujuan pengukuran tanpa menyentuh pada bahagian muka pesakit. Dengan adanya penyelidikan ini, diharap dapat membantu di dalam bidang perubatan bagi menghasilkan perkhidmatan kesihatan serta rawatan perubatan yang lebih baik kepada umum.

1.2 Pernyataan Masalah

Pada masa kini kebanyakan pengukuran linear yang dilakukan pada bahagian muka pesakit iaitu pada tisu keras dilakukan dengan menggunakan kaedah konvensional. Kaedah konvensional ini dilihat kurang praktikal dan teknologi yang digunakan agak ketinggalan. Ini kerana pada masa kini wujud kaedah yang lebih moden di samping dapat memberikan hasil yang lebih baik lagi (Mohd Farid, 2005). Kaedah yang dimaksudkan adalah seperti imbasan CT, x-ray, fotogrametri jarak dekat digital, imbasan laser, imbasan MRI dan sebagainya pada bahagian *craniofacial* pesakit.

Dengan menggunakan kaedah-kaedah ini, proses pengukuran dapat dilakukan pada model digital 3D yang dibangunkan dengan lebih mudah serta cepat tanpa perlu melakukan pengukuran secara terus pada bahagian muka pesakit. Kaedah ini amat sesuai digunakan bagi pesakit yang mengalami masalah kecederaan yang kritikal pada bahagian muka contohnya akibat daripada kemalangan. Kaedah ini juga turut dipraktikkan pada pesakit yang mengalami masalah kecacatan semasa lahir dan juga berpenyakit bagi memperbaiki taraf kesihatan serta keadaan pesakit tersebut. Rajah 1.1 menunjukkan contoh-contoh kecacatan pada bahagian muka pesakit.



Rajah 1.1: Keadaan kecacatan pada bahagian muka pesakit; (a) ketumbuhan, (b) kecacatan semasa lahir, (c) kemalangan

Sebelum ini, pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan kaedah konvensional seperti kaliper, pita ukur dan protraktor didapati mengambil masa yang agak lama berbanding kaedah moden yang digunakan pada masa kini. Contohnya, penggunaan kaliper di dalam melakukan 10 pengukuran pada bahagian muka pesakit di dalam kajian ini, telah mengambil masa lebih kurang tujuh minit berbanding pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan perisian Australis dan RapidForm2004 iaitu lebih kurang dua minit sahaja.

Proses penentuan titik pengukuran yang terdapat pada bahagian dalam tengkorak pesakit juga adalah antara masalah yang sering dihadapi oleh doktor dan pakar bedah di hospital. Dengan menggunakan kaedah moden, model digital 3D dan model fizikal bagi tisu keras pesakit dapat dihasilkan untuk tujuan perancangan pembedahan. Model digital 3D dan fizikal yang dihasilkan ini dapat digunakan untuk menentukan kedudukan titik pengukuran yang sukar ditentukan dengan menggunakan kaedah konvensional untuk tujuan pengukuran.

Pada masa kini, terdapat pelbagai perisian 3D yang wujud di pasaran dan ada juga yang boleh diperolehi secara percuma dengan memuat turun dari internet untuk penghasilan model tengkorak secara digital. Walaubagaimanapun, tidak semua perisian tersebut dapat menghasilkan model digital yang berkualiti tinggi. Bagi permodelan tengkorak digital dalam bentuk 3D, kajian ini telah menggunakan tiga perisian 3D untuk mendapatkan model tengkorak yang mempunyai data berkualiti tinggi dengan kos perisian yang rendah serta mempunyai kebolehpercayaan yang tinggi.

1.3 Objektif Penyelidikan

Dalam kajian ini, penyelidikan dilakukan bertujuan untuk mencapai objektif-objektif berikut:

1. Menghasilkan model digital 3D bagi *craniofacial* tisu keras dengan menggunakan data imbasan CT 2D dan tiga perisian 3D.
2. Membandingkan teknik-teknik baru untuk menentukan pengukuran linear pada model digital 3D dan model fizikal bagi tisu keras manusia serta menganalisa hasil pengukuran yang telah diperolehi.

1.4 Skop Penyelidikan

Kajian ini merangkumi tiga skop penting. Di antaranya adalah:

1. Menguji tiga jenis perisian 3D yang wujud pada masa kini iaitu RapidForm2004, 3D Doctor dan 3D Slicer.

2. Menguji tiga kaedah pengukuran iaitu pengimbas *laser*, *microscribe digitizer* dan kaliper.
3. Membandingkan 19 pengukuran linear sahaja.
4. Terdapat lima sampel data yang digunakan di dalam kajian.

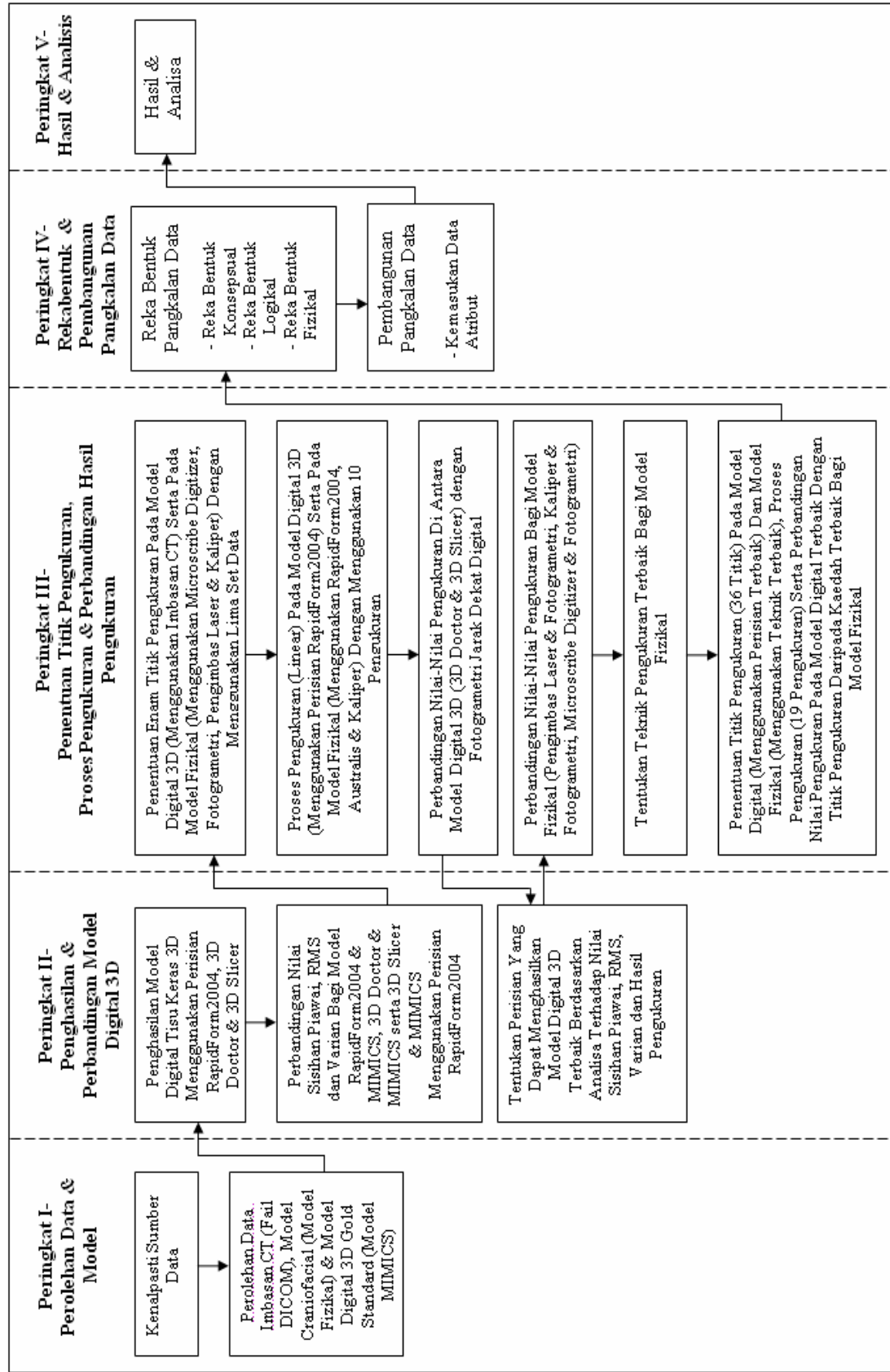
1.5 Metodologi Penyelidikan

Bagi mencapai objektif-objektif kajian, penyelidikan ini dibahagikan kepada lima peringkat. Antara peringkat-peringkat tersebut adalah:

- 1) Perolehan data dan model.
- 2) Penghasilan dan perbandingan model digital 3D.
- 3) Penentuan titik pengukuran, proses pengukuran dan perbandingan hasil pengukuran.
- 4) Reka bentuk dan pembangunan pangkalan data.
- 5) Hasil dan analisis.

Rajah 1.2 menunjukkan metodologi bagi kajian ini secara terperinci. Senarai keseluruhan metodologi kajian ini adalah seperti berikut:

- (a) Mengenalpasti sumber-sumber data yang digunakan di dalam kajian.
- (b) Memperolehi data-data imbasan CT di dalam fail DICOM, model *craniofacial* tisu keras (model fizikal) serta model digital 3D *gold standard* (model MIMICS).
- (c) Menghasilkan model digital 3D bagi *craniofacial* tisu keras menggunakan perisian RapidForm, 3D Doctor dan 3D Slicer daripada data imbasan CT.



Rajah 1.2. Metodologi kajian

- (d) Membandingkan nilai sisihan piawai, RMS dan varian bagi model RapidForm2004 dan MIMICS, 3D Doctor dan MIMICS serta 3D Slicer dan MIMICS dengan menggunakan perisian RapidForm2004.
- (e) Menentukan enam titik pengukuran pada model digital 3D (menggunakan imbasan CT) serta pada model fizikal (menggunakan *microscribe digitizer*, fotogrametri jarak dekat digital, pengimbas laser dan kaliper) dengan menggunakan lima set data.
- (f) Melakukan 10 pengukuran linear pada model digital 3D (menggunakan perisian RapidForm2004) dan model fizikal (menggunakan Australis, RapidForm2004 dan kaliper).
- (g) Membandingkan nilai-nilai pengukuran bagi model digital 3D (3D Doctor dan 3D Slicer) dengan fotogrametri jarak dekat digital. Perbandingan ini tidak dapat dilakukan pada model digital 3D bagi perisian RapidForm2004 disebabkan kesukaran untuk menentukan kedudukan sebenar bagi titik pengukuran pada model tersebut.
- (h) Menentukan perisian yang dapat menghasilkan model digital 3D terbaik berdasarkan analisa terhadap nilai sisihan piawai, RMS, varian dan hasil pengukuran.
- (i) Membandingkan nilai-nilai pengukuran bagi model fizikal (pengimbas laser dan fotogrametri jarak dekat digital, kaliper dan fotogrametri jarak dekat digital serta *microscribe digitizer* dan fotogrametri jarak dekat digital).
- (j) Menentukan teknik pengukuran terbaik bagi model fizikal.
- (k) Menentukan titik pengukuran (36 titik) pada model digital (menggunakan perisian terbaik) dan model fizikal (menggunakan teknik terbaik), melakukan proses pengukuran (19 pengukuran) serta membandingkan nilai pengukuran di antara model digital terbaik dengan titik pengukuran yang terhasil daripada kaedah terbaik bagi model fizikal.

- (l) Mereka bentuk pangkalan data dengan melakukan reka bentuk konseptual, reka bentuk logikal dan reka bentuk fizikal.
- (m) Pembangunan pangkalan data ringkas untuk kemasukan data atribut.
- (n) Hasil dan analisis bagi keseluruhan kajian.

Jadual 1.1 menunjukkan input, proses dan juga output bagi kajian yang dilakukan. Terdapat dua input di dalam kajian ini iaitu data imbasan CT dan juga model fizikal bagi *craniofacial* tisu keras manusia. Bahagian proses pula melibatkan penggunaan empat pakej perisian 3D iaitu RapidForm2004, 3D Doctor, 3D Slicer dan MIMICS serta empat peralatan iaitu pengimbas laser VIVID 910, kaliper vernier, *Microscribe Digitizer G2X* dan fotogrametri jarak dekat digital. Antara output yang dihasilkan di dalam kajian ini pula adalah seperti model digital 3D, koordinat titik pengukuran 3D serta hasil pengukuran bagi jarak linear.

Jadual 1.1: Input, proses dan output bagi kajian

Input	Proses	Output
Data imbasan CT	RapidForm2004 <ul style="list-style-type: none"> – Import fail DICOM – <i>Subsampling</i> – Segmentasi imej – Masukkan nilai skala (<i>threshold</i>) – <i>Volume of interest</i> – <i>Cut volume</i> – Hasilkan <i>polygonal isosurface</i> – Hasilkan model 3D – Tentukan titik pengukuran – Pengukuran jarak 3D Doctor <ul style="list-style-type: none"> – Import fail DICOM – <i>Image sharpen</i> – Klasifikasi imej – Masukkan <i>map pixel value</i> – <i>3D rendering</i> – Segmentasi interaktif – Hasilkan model 3D – Tentukan titik pengukuran – Pengukuran jarak 	<ul style="list-style-type: none"> – Model digital 3D – Koordinat titik pengukuran 3D – Hasil pengukuran

	3D Slicer <ul style="list-style-type: none"> – Import fail DICOM – <i>Threshold</i> – <i>Change island</i> – Hasilkan model 3D – Tentukan titik pengukuran – Pengukuran jarak MIMICS <ul style="list-style-type: none"> – Diproses oleh SIRIM 	
Model fizikal	Pengimbas laser VIVID 910 <ul style="list-style-type: none"> – Tentukan titik pengukuran – Imbas model fizikal – <i>Register</i> imej – <i>Merge</i> imej – Hasilkan model 3D – Pengukuran jarak 	<ul style="list-style-type: none"> – Model digital 3D – Koordinat titik pengukuran 3D – Hasil pengukuran
	Kaliper vernier <ul style="list-style-type: none"> – Tentukan titik pengukuran – Pengukuran jarak 	<ul style="list-style-type: none"> – Hasil pengukuran
	Microscribe digitizer G2X <ul style="list-style-type: none"> – Tentukan titik pengukuran – Mendigit titik pengukuran – Hasilkan koordinat titik pengukuran 3D – Pengukuran jarak Fotogrametri jarak dekat digital <ul style="list-style-type: none"> – Tentukan titik pengukuran – Mengambil gambar (8 sudut berbeza) – Pendigitan titik pengukuran (Australis) – Hasilkan koordinat titik pengukuran 3D – Pengukuran jarak 	<ul style="list-style-type: none"> – Koordinat titik pengukuran 3D – Hasil pengukuran

1.6 Kepentingan Penyelidikan

Kajian ini merupakan salah satu sub topik di dalam penyelidikan *Real Time Image Capturing System Photogrammetry of Craniofacial* di bawah vot IRPA 74537 dengan kerjasama *Standards and Industrial Research Institute of Malaysia* (SIRIM), Universiti Teknologi Malaysia (UTM) dan Hospital Universiti Sains Malaysia (HUSM). Penyelidikan ini dibiayai sepenuhnya oleh Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi (MOSTI). Kajian ini lebih menekankan kepada teknik-teknik yang digunakan di dalam proses menentukan ketepatan bagi kedudukan titik dan pengukuran linear pada *craniofacial* tisu keras manusia.

Dengan terhasilnya kajian ini, diharapkan dapat membantu pakar bedah dan ahli radiologi di dalam merancang sebarang pembedahan yang akan dilakukan iaitu sebelum dan juga selepas pembedahan. Kajian ini juga dijangka dapat meningkatkan masa serta mengurangkan kerumitan di dalam perancangan pembedahan yang dilakukan. Pada akhir kajian ini dilakukan, hasil yang diperolehi adalah model digital 3D bagi *craniofacial* tisu keras manusia menggunakan perisian terbaik dan kaedah terbaik untuk menentukan pengukuran linear pada model fizikal *craniofacial* manusia.

1.7 Rumuan Aliran Bab

Tesis ini terbahagi kepada tujuh bab. Bab satu membincangkan mengenai pengenalan bagi kajian yang dilakukan. Bab ini merangkumi pernyataan masalah, objektif penyelidikan, skop penyelidikan, metodologi penyelidikan serta kepentingan penyelidikan.

Dalam bab dua pula, topik perbincangan adalah berkaitan dengan kajian literatur yang dilakukan. Perbincangan ini termasuklah mengenai *craniofacial*, keperluan pengukuran dalam *craniofacial*, peralatan pengimejan perubatan, pangkalan data dalam bidang perubatan serta analisa statistik.

Bab tiga adalah lebih memfokuskan kepada penghasilan model digital 3D bagi *craniofacial* tisu keras. Manakala bab empat pula menerangkan mengenai titik pengukuran, penentuan titik pengukuran serta proses pengukuran pada model digital 3D dan juga model fizikal bagi *craniofacial* tisu keras manusia.

Dalam bab lima, topik perbincangan adalah mengenai pangkalan data ringkas yang dibangunkan untuk menyimpan maklumat pengukuran pada model. Bab enam pula merujuk kepada penerangan tentang analisis dan hasil kajian. Bab terakhir iaitu bab tujuh adalah merangkumi kesimpulan dan cadangan bagi kajian yang dijalankan.